

CT 及び X 線透視画像を用いた Shape-matching 法による膝線十字靱帯機能の解析

In vivo image matching analysis of the ACL function using CT and fluoroscopic images

坂田 淳 (Jun Sakata)

指導：福林 徹

【緒言】膝前十字靱帯(以下 ACL)はその走向により前内側と後外側線維に分けられ、異なる機能を有す。ACL が損傷されると膝関節の回旋不安定性が増大することが明らかにされている。膝関節再建術の目的は関節の安定性を回復させ、正常膝と同様な運動を獲得させることにある。前内側・後外側線維の機能の違いに関わらず、これまで ACL 再建術は前内側線維のみの再建がなされてきた。近年、前内側及び後外側線維を再建する解剖学的 ACL 再建術が施行されるにつれ、その術式の有用性が明らかになってきている。すなわち従来の 1 束再建術では完全に回復されない回旋不安定性が解剖学的再建術では復元されるというものである。しかし、これらを示す研究はどれも in vitro な研究であり、in vivo でこの術式の有用性を示したものはない。そこで本研究では in vivo にて解剖学的再建術を施行された膝に回旋ストレスや動的な動作を行わせ、その際の膝関節運動を健常側と比較することで、伸展域における膝関節の運動において再建膝が正常膝と変わらないことを証明し、解剖学的再建術の有用性を示すことを目的とした。膝関節運動解析には CT および X 線透視画像を用いた shape-matching 法 (Banks et al. 1996) を使用し、詳細な膝関節運動の解析を可能とした。

【対象及び方法】対象は過去に解剖学的 ACL 再建術を行った 7 名 (男性 2 名, 女性 5 名)。取込基準としては同一の整形外科医が ACL 再建を行い、術後半年以上経過し、現在膝に前方不安定性がなく、また明らかな問題がなくスポーツに復帰している者とし、一方除外項目としては妊婦および心疾患など内科的リスクのある者や ACL 損傷以外に膝に不安定性を及ぼすような外傷・障害の既往がある者とした。被検者は事前に筋力測定がなされた後、次の 3 つの課題が両膝において X 線遠視装置 (5Hz) 撮影下で行われた。すなわち①背臥位、膝 30, 45, 60 度屈曲位にて大腿中間および足部を固定し 3Nm のトルクを足部にかけた状態での他動的な膝内旋・外旋運動②立位、膝関節 30 度屈曲位、足部を床に固定した状態での振り向き動作 (内旋・外旋方向)、③足幅を広くし股関節が外旋した状態でのスクワットを行った。その後 CT 撮影により得られた画像から 3D-Doctor (Able software 社) を用いて 3 次元膝モデルを作製し、3 次元膝モデル上にて大腿骨頭および脛骨平面の形状をもとに座標系が定義された。X 線透視画像および膝 3D モデルより shape-matching 法 (Banks et al. 1996) が行

われ、脛骨の前方移動量および膝回旋角の計算がなされた。統計処理には正常膝と再建膝の回旋角の検定には 1way-ANOVA, post hoc test (Bonferroni) を、各屈曲位における膝関節運動には 2way-ANOVA, post hoc test (Bonferroni) を用いた (有意水準: $p < 0.05$)。

【結果】他動的な膝回旋角では 60 度屈曲位において正常膝の内旋角が $2.23^\circ \pm 2.87^\circ$ なのに対し再建膝が $6.65^\circ \pm 1.99^\circ$ と有意に増大した ($p < 0.05$)。それに対し 30, 45 度屈曲位における他動的な内旋や全ての他動的な外旋において、膝関節の回旋角に有意な差はみられなかった。振り向き動作の内旋角についても正常膝と再建膝において有意な差はみられなかった。スクワット動作について、脛骨の前方移動量および膝外反角、膝回旋角に有意な差はみられなかった。しかし、7 例中 3 例において再建側の膝関節が屈曲するにつれ大きく内旋する傾向がみられた。

【考察】本研究は回旋ストレス下や動的な課題を行った際の膝関節の機能的安定性について検討した。回旋ストレス下において、60 度屈曲位の他動的な内旋を除き、再建膝と正常膝との間に明らかな違いはみられなかった。屍体膝を用いた研究では浅屈曲位における解剖学的再建術はほぼ正常な ACL 機能の改善がみられると報告されている。本研究においても 30 度、45 度屈曲位において正常な ACL の機能が再現されていると考えられる。それに対し 60 度屈曲位においては内旋方向に不安定性を有した。ACL 後外側線維は屈曲角の増大に伴い弛緩しそれは特に 60 度を越えて顕著になることから、これは後外側線維の特徴を示すものであると言える。過去の報告では解剖学的再建術の浅屈曲位以外の回旋不安定性について注目されたものはなく、本研究は解剖学的再建術の浅屈曲位での安定性を示すとともに深い屈曲位での不安定性を示唆するものである。振り向き動作及びスクワット動作において正常膝・再建膝間に有意な差は認められなかった。スクワット動作における再建膝の深屈曲位での内旋角増大は有意な差は認められなかったものの、筋力低下と不安定性を示唆する報告もあり、さらなる研究が必要である。本研究の限界として被検者数、術後期間、課題動作の負荷量などが挙げられた。

【結語】解剖学的再建術は浅屈曲位における正常 ACL 機能を回復するものの 60 度屈曲位では内旋不安定性を呈し、ACL の機能を完全には回復できてはいない。